

# 2018 年臺灣國際科學展覽會 優勝作品專輯

作品編號 100019

參展科別 工程學

作品名稱 風力罩得住酷旋發電機

得獎獎項 大會獎：三等獎

荷蘭 INESPO 正選代表

就讀學校 臺北市立龍門國民中學

國立臺灣師範大學附屬高級中學(附設國中)

指導教師 陳英杰

作者姓名 陳亭儒、林玟葳、黃 翊

關鍵詞 風力扇葉導流罩、磁浮軸承、發電機

## 作者簡介



我們就讀國小時因為新聞報導核四議題而開始接觸有關「發電」的實驗，後來以自製的小型發電機參加全國科展。三個人升上國中後，雖然不同校不同班，但彼此非常享受一同討論，互相交流有趣想法的過程，因此選擇週末假日進行實驗研究。一開始我們覺得製作風力發電機不是很困難，沒想到做下去發現問題很多，需要重新學習許多新技術才能克服。儘管研究過程中遭遇了很多挫折，但一步一步做下來，最後終於成功改進風力發電的效率。科展的經驗讓我們體會到知識經過實際驗證，就能成為解決問題的力量，非常感謝父母的支持及老師的耐心教導！

## 摘要

本研究共設計十二個實驗，探討垂直型風力發電機如何將各方吹來的風充分利用，首先設計能減少風力扇葉轉軸轉動摩擦力的軸承，接著製作導流罩以收集所有吹進來的風並提高磁動生電的轉換效率。我們製作的風力發電機將來自四面八方的自然風有效利用，具積少成多的集風特性，輸出電壓可達 30V 以上，並能針對鋰電池充電，發揮以時間換取空間的特殊功能，且因為體積小，非常適合於臺灣地狹人稠而且風力不強的環境。我們將自製的發電機實際應用在學校走廊、樓梯間以及樓頂進行發電，可以提供夜間照明，達到自給自足的綠色能源目標。

## Abstract

We investigate how to improve the efficiency of a wind-driven generator to enable constantly output electrical power with light and variable wind. To enable it to work with light wind, we invented a novel magnetic levitation (MAGLEV) bearing to reduce the rotor friction of a vertical wind turbine. Experiments showed the MAGLEV bearing enabled wind turbine could rotate 464 seconds, as compared to 21 seconds of an ordinary bearing. In addition, to utilize the variable wind power, we proposed to surround the turbine with a set of Spiral Directional Deflectors (SDDs), such that it can fully direct omnidirectional wind to propel the turbine. Combining the advantages of a low friction MAGLEV bearing and omnidirectional wind enabling SSDs, the wind-driven generator can efficiency function well under a light and variable wind environment, such as the metropolitan area. The most prominent feature of this combination is that it can fully exploit the ideal rotor characteristics of a MAGLEV bearing by the surrounding SSDs that help to provide constant unidirectional wind power in an omnidirectional and variable wind environment. This output voltage of the self-made generator is as high as 30 voltages and can constantly charge a lithium battery set whose operational voltage is around 4.3 voltages. In addition to the power performance, the volume of the generator is small enough to be setup in the dense residence area of Taiwan to transform omnidirectional light and variable wind power to electrical power. The small size also enables connection in series or parallel with more than one units to enlarge the generated power for other high voltage/current applications. When placed the generator on the campus corridor or rooftop, the generated power can light a bulb for night illumination, which justified the research target of designing a self-sufficient green energy generator.

# 壹、前言

## 一、動機

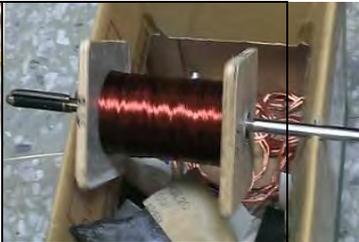
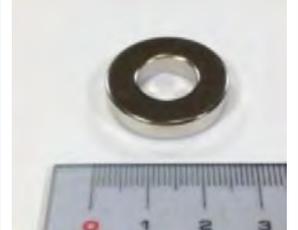
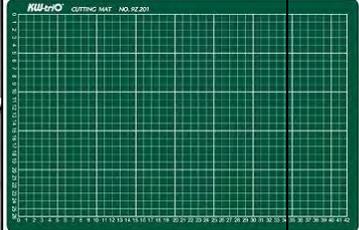
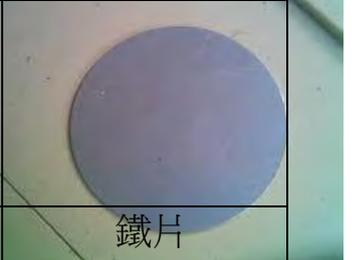
電力供應一直都是全球每一個國家的重要民生議題。全人類雖然盡力維護核電安全，但是大自然的力量之不可預測，核電仍然受著天災人禍的威脅。再生能源在不同地區有不同作法，在臺灣都會區因為地狹人稠，沒有空曠的地方放風力發電機，而且風力也不是很強。」因此我們基於上次科展製造的簡易磁浮軸承風力發電，進一步延伸製作可以實際應用到日常生活的微弱風力發電機。我們希望運用科學知識，製造出一個可以收集各方向微弱風力的發電機，可以讓家家戶戶運用長時間的微小發電，提供夠用的電力，期待可以促成無污染的永續發電模範。

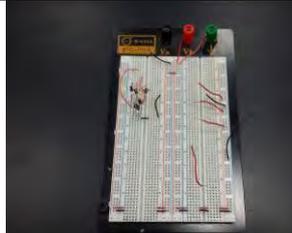
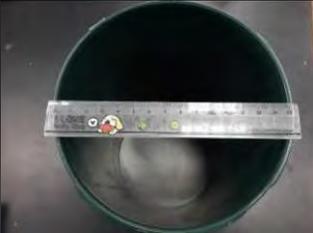
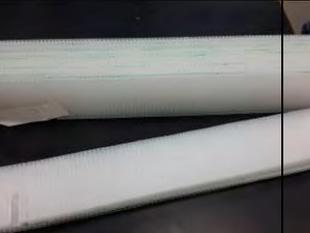
## 二、目的

- (一)探討垂直型風力發電機「扇葉數」對風力扇葉轉動效能的影響。
- (二)研究如何運用導流罩，提高風力扇葉集風的效率。
- (三)了解不同風力扇葉轉軸對於具備導流罩的風力發電機之轉換效能。
- (四)找出可提供穩定發電的磁盤磁鐵極性和發電線圈的最佳排列與連接方法。
- (五)製作可以實際應用於日常生活的微弱風力發電機。

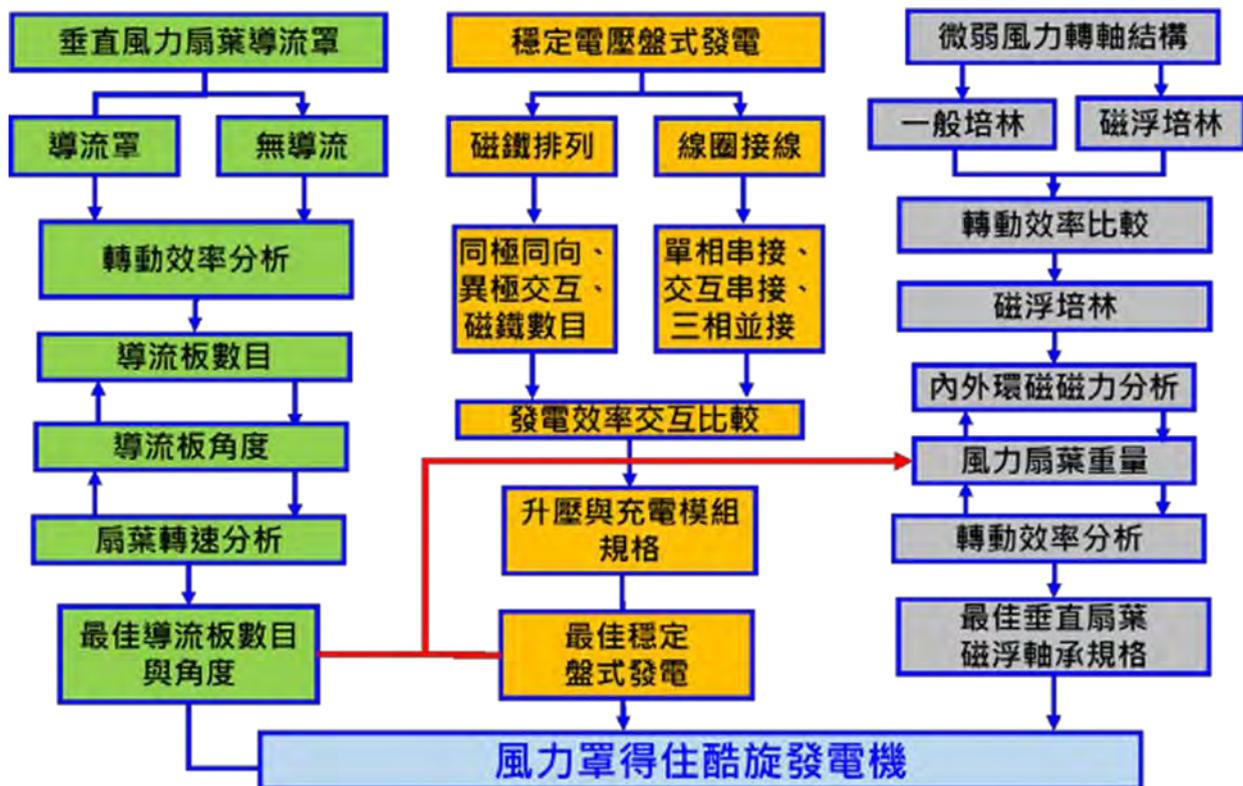
## 貳、研究方法或過程

### 一、實驗器材

			
風速計	轉速計	電風扇	漆包線
			
強力磁鐵	小型光碟片	光碟片布丁桶	熱融膠
			
起霧器	三用電表	智慧型手機	壓克力圓盤
			
大環形磁鐵	小環形磁鐵	鋁棒(轉軸)	切割墊
			
塑膠藥瓶	竹筷	膠帶	鐵片

			
麵包板	塑膠管(管徑15cm)	電腦風扇	塑膠瓦楞板
			
錫鋼片	電子秤	示波器	轉軸培林

## 二、 研究流程



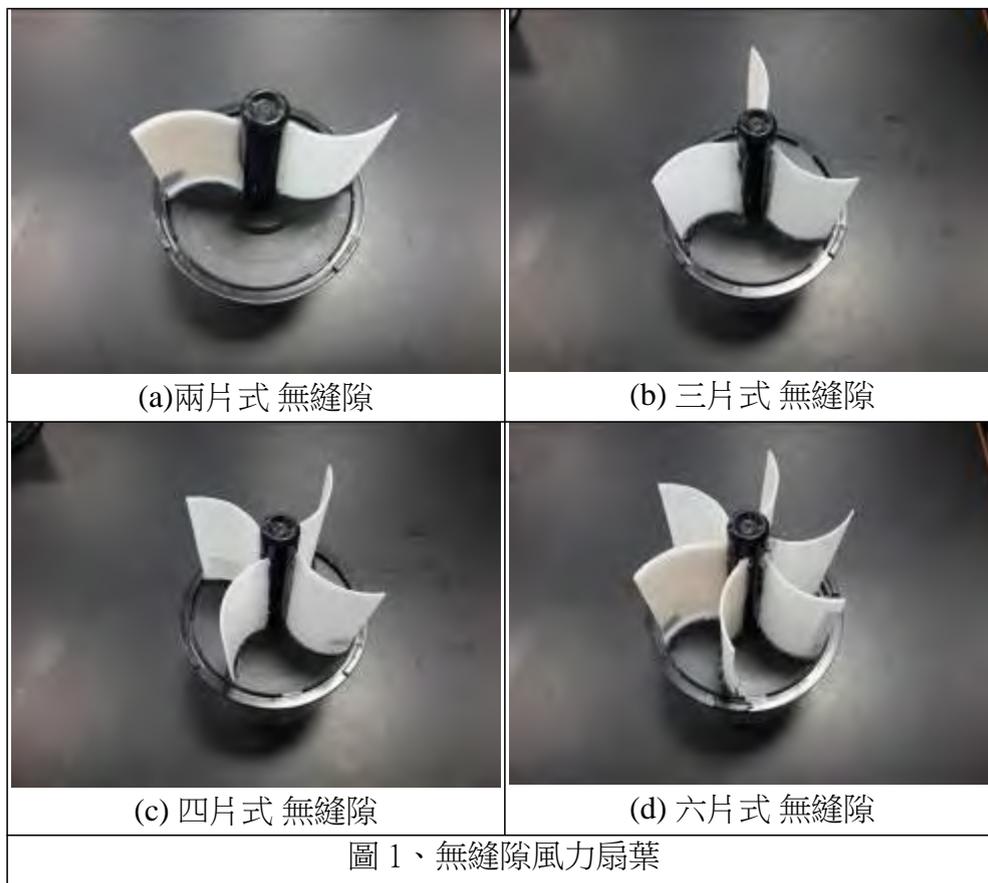
## 參、 研究結果與討論

### 一、 實驗(一): 風力扇葉前置作業

我們利用日常可得的材料製作風力扇葉轉動機座，以便後續實驗可以操作實驗的變因，改變風力扇葉數目、型態、以及配合導流罩進行的實驗控制。

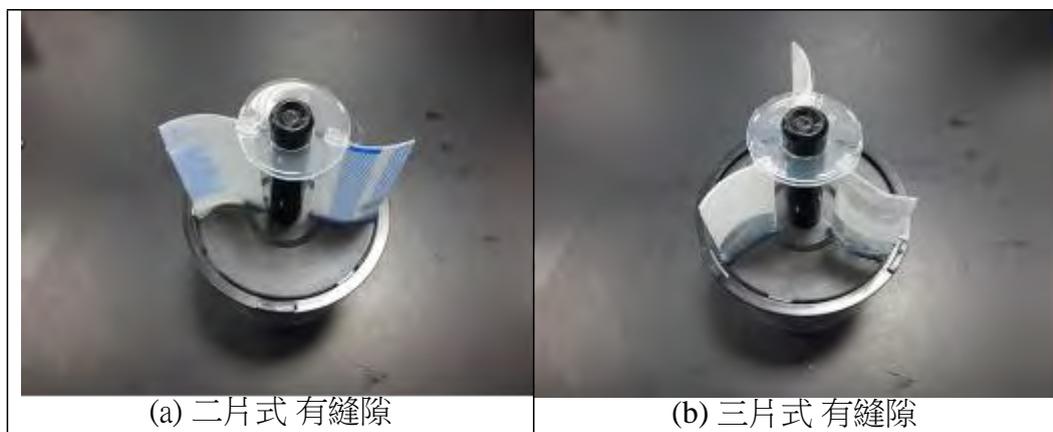
#### 1. 無縫隙風力扇葉

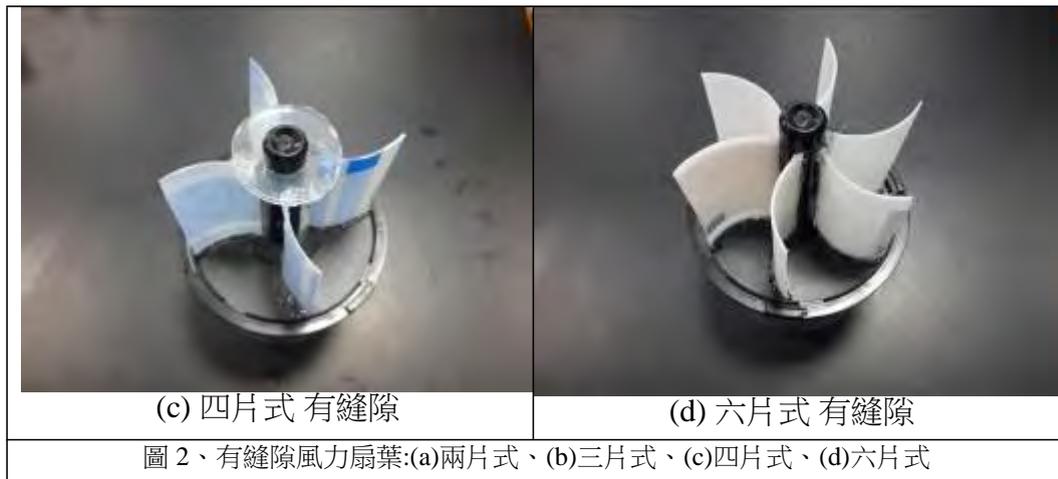
製作不同扇葉數目的風力扇葉，將塑膠藥罐剪裁黏貼於小光碟片的布丁桶。分別製作兩片式、三片式、四片式以及六片式的風力扇葉。如圖 1 所顯示。



## 2. 有縫隙風力扇葉

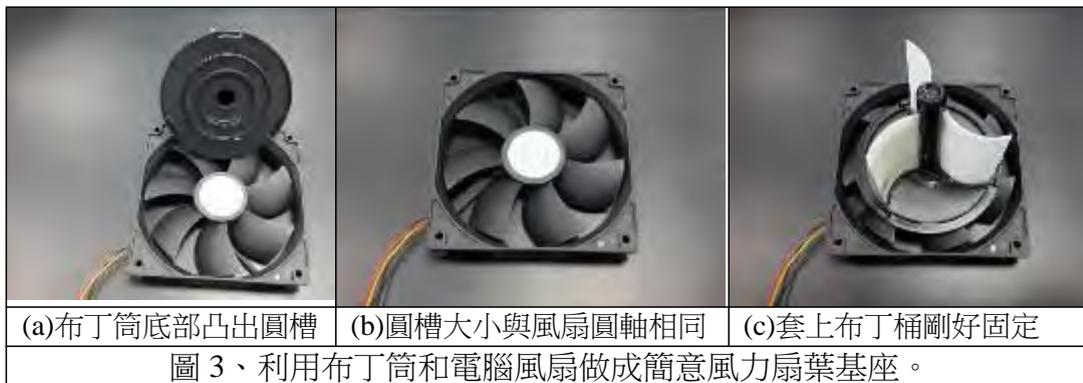
以布丁筒當底座，黏貼上塑膠瓶裁剪的扇葉，在扇葉與轉軸間留下空隙，以做為無縫隙的對照組。製作出來的扇葉如下方圖 2、有縫隙風力扇葉:(a)兩片式、(b)三片式、(c)四片式、(d)六片式所顯示。





### 3.風力扇葉轉動底座

利用布丁筒底座圓槽和電腦風扇的圓軸大小一樣的規格(圖 3(a)(b))，將底座套上圓軸(圖 3(c))，剛好可以固定扇葉，使用風扇吹可以正常旋轉。利用這樣的組合我們可將不同扇葉數目的底座套上風扇，實驗各種不同組合的扇葉集風效能。



### 4.導流罩製作

因為微弱風力一般來自四面八方，而且對於風力扇葉會同時造成順向和逆向力矩。因此需要運用導流罩，將來自各方向的風轉換成讓風力扇葉單一轉向的風力。如圖 4(a)所示，內部綠色部分是風力扇葉，外面白色部分是風力導流罩，可以將來自各方向的風，都轉為逆時針旋轉的風力。圖 4(b)整體運作示意圖，圖 4(c) 顯示當風力方向與扇葉設計旋轉方向相同時的集風方式，圖 4(d)則是當風力與扇葉設計旋轉方向相反時，風流向轉換的方法。

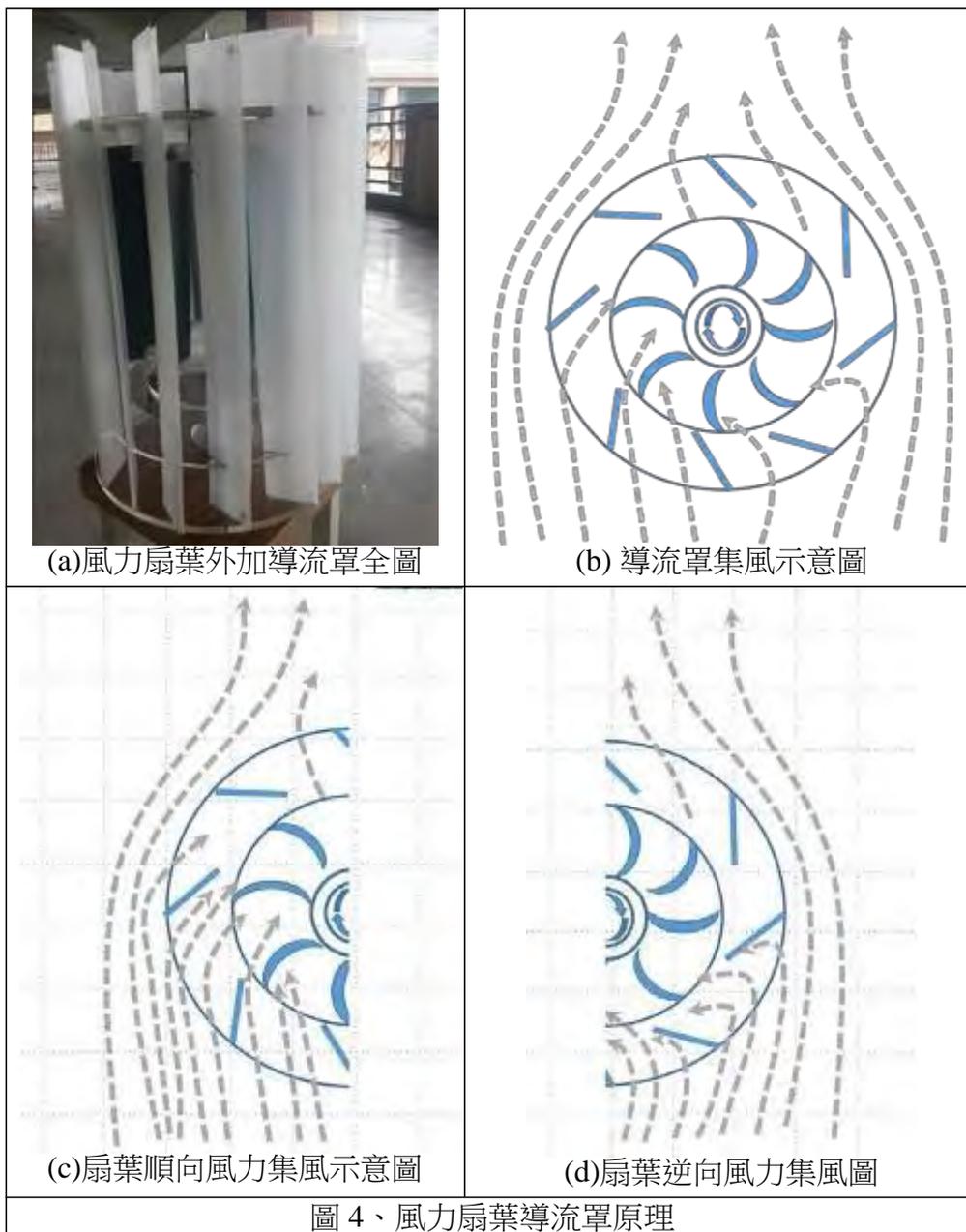
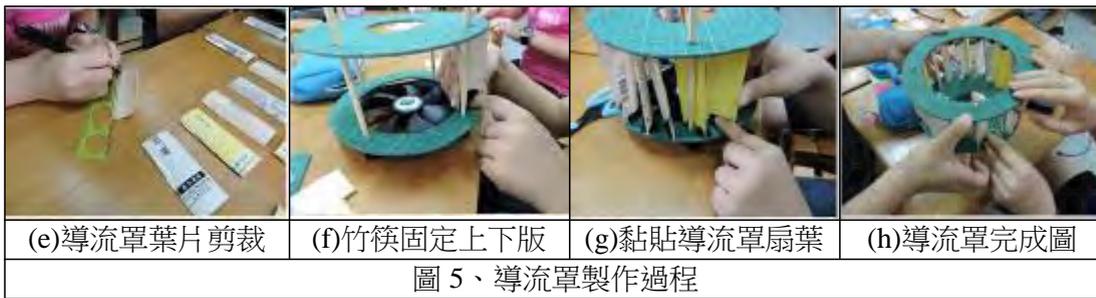


圖 4、風力扇葉導流罩原理

我們自己手做的流程如圖 5 所顯示，圖 5(a)先繪製導流樣板，然後依據這個板模放在綠色切割板上，用剪刀剪出對應的形狀如圖 5(b)(c)，再剪裁塑膠藥罐做成導流扇葉如圖 5(d)(e)，以膠帶黏貼於導流架上如圖 5(f)(g)，就可以完成簡易導流罩的雛形如圖 5(h)。





## 二、實驗(二): 扇葉數目不同的風力機轉速分析(無導流罩)

本實驗我們將自製的扇葉數目不同的風力扇葉，套在電腦風扇上，然後使用電風扇以固定風力吹扇葉，量測轉速以了解不同扇葉數目的風力機集風轉換的效能。



### 1. 實驗步驟:

- (1) 將兩葉片的風力扇葉，套在電腦風扇上成為風力機。
- (2) 用固定風力(風速計顯示約為 3.5m/s)，讓電風扇吹在風力扇葉上。
- (3) 使用轉速計量測扇葉的轉動速率，紀錄十五次轉速值。
- (4) 改用三葉片、四葉片、六葉片的風力扇葉，重複步驟(1)(2)(3)，將所量測到的數值紀錄起來。實驗設置如圖 6 所示。

## 2. 實驗結果

- (1) 將所量測到的十五次有效轉速 (rpm) 數據加總取平均。
- (2) 依據葉片數目紀錄有/無縫隙扇葉轉速於右方圖表。



## 3. 實驗討論

- (1) 實驗結果顯示，在沒有導流罩的情況下，不管有縫隙無縫隙，都是三葉片的風力扇葉轉速最快。
- (2) 四葉片和六葉片的風力扇葉，在相同風力下，不會轉動。即使用手撥動旋轉一陣子，也是會停下來。應該是正逆力矩抵消之後，剩下的力距大小不足以推動扇葉。

## 三、實驗(三): 加上導流罩(九片導流葉板)進行不同扇葉數目的轉速量測實驗

### 1. 實驗步驟:

與實驗二相同，但外加導流罩量測風速和轉速。方法如圖 7 所表示:



圖 7、扇葉外圍加上導流罩作固定風量下之轉速測量

## 2. 實驗結果

- (1) 從所記錄的實驗數據中，選取有效轉速 (rpm) 值十五筆。
- (2) 計算十五筆數據的平均值，如右方表及圖示。

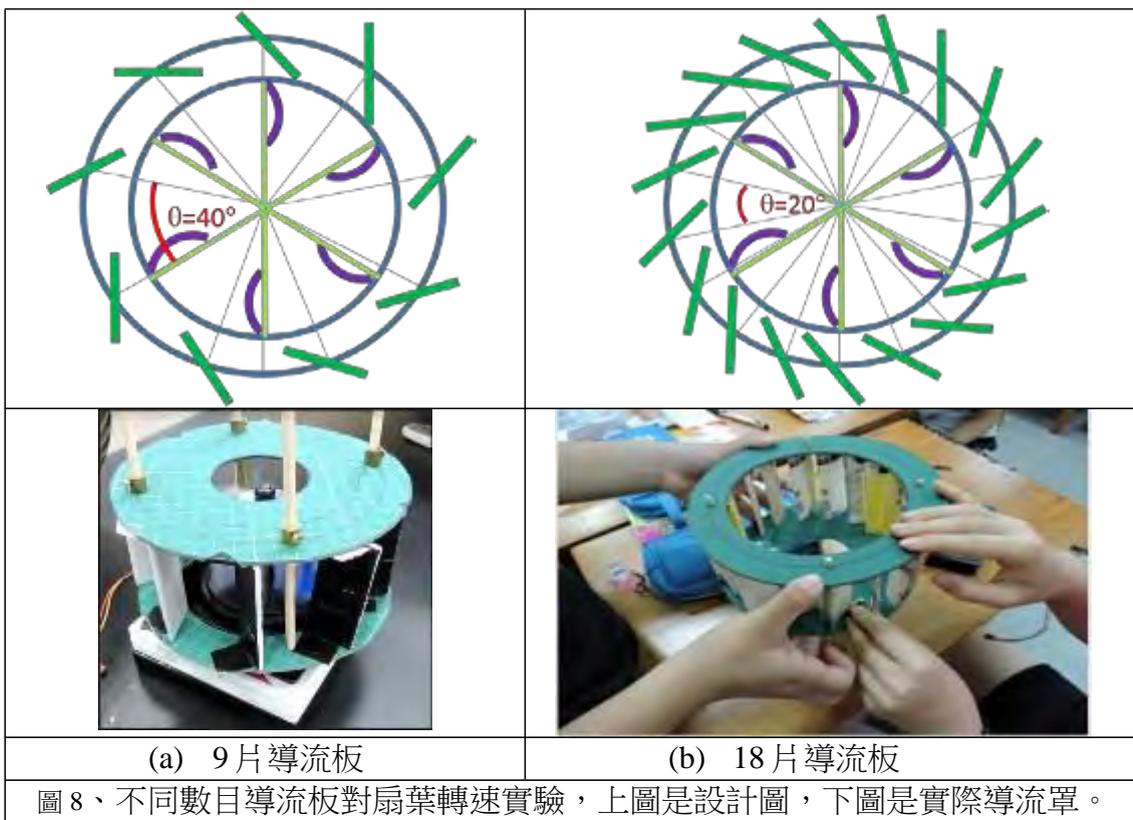


## 3. 實驗討論

- (1) 實驗結果很意外，本來風吹不轉動的無縫四片風力扇葉，在外加導流罩的情況下，居然是轉速最快的，達到  $\text{rpm}=710.26$ 。
- (2) 扇葉數目最多的六片風力扇葉，仍然不會轉動。
- (3) 我們從加裝導流板的風力機結構來看。因為九片導流板之間的空隙很大，所以除了導流過的風力去推動扇葉，還有直行前進的風力吹到扇葉上，造成順逆風力矩總和過小，無法推動扇葉旋轉。

#### 四、實驗(四): 加上導流罩(十八片導流板)進行不同扇葉數目的轉速量測實驗

實驗三加裝導流罩的風力機把原先不會轉的四片扇葉，變成轉速最快的。而六片扇葉仍然不會轉，經分析原因應該是導流罩的導流板間隙太大。因此我們改變導流罩導流板數目進行實驗來分析導流的特性。實驗自製之導流罩如圖 8 所示。



##### 1. 實驗步驟:

- (1) 把導流板數目增加一倍，將十八片導流板的導流罩放到風力機上面。
- (2) 開啟電扇，針對不同數目風力扇葉的風力機做相同實驗，觀察看是否會轉動。

##### 2. 實驗結果:

- (1) 風力扇葉只要有加導流罩(2, 3, 4, 6 片)皆會轉動。

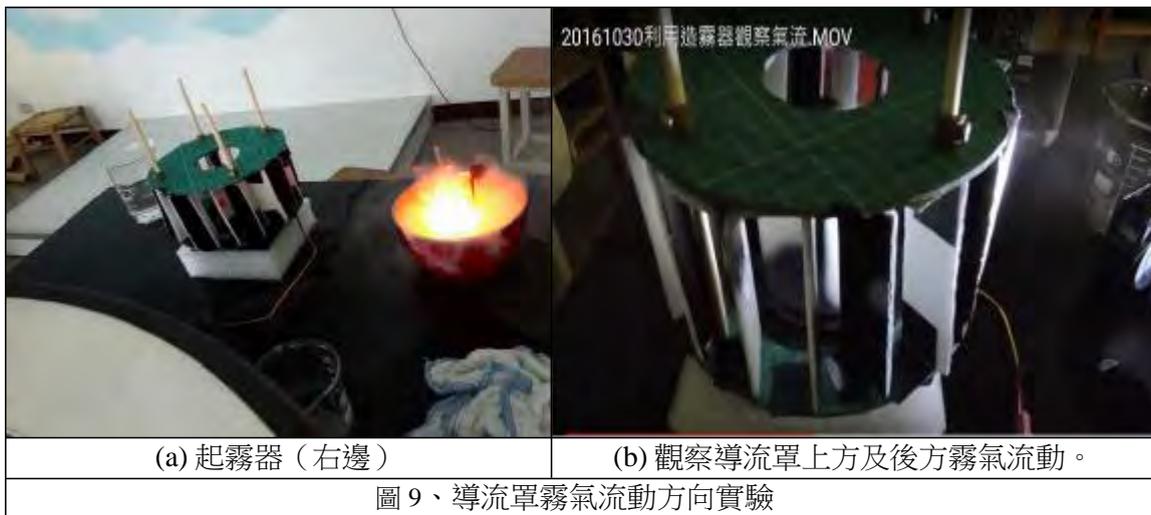
- (2) 六片扇葉的風力機，當導流罩的導流板從九片增加到十八片時，原本不會轉動的六片風力扇葉，可以在風吹時自動快速旋轉。

### 3.實驗討論:

- (1) 當導流板數目增加一倍時，所有吹進來的風大都會碰到導流板，所以沒有直吹到扇葉的風。
- (2) 直接吹到扇葉的風會同時產生順向和逆向力矩，順向力矩減去逆向力矩大小之後，要超過扇葉轉軸的最大靜摩擦力才可以讓扇葉旋轉。
- (3) 經過導流的風都轉向成與風力扇葉設計轉動的方向一致，因此就沒有順逆力距差距小而無法轉動扇葉的現象了。

## 五、實驗(五): 導流板氣流分析

為了瞭解吹過來的風經過導流板之後的流向路徑，我們使用起霧器產生白色水霧並用電風扇吹進導流板，錄影觀察水霧的行進方向。實驗設置如圖 9 所表示。



### 1. 實驗步驟:

- (1) 將起霧器放在容器裡，打開電源讓水霧充滿容器後溢出。
- (2) 打開電扇向容器吹風，將水霧吹進導流罩。
- (3) 用攝影機拍下水霧在導流罩之中流動的方向。

### 2. 實驗結果：

起霧器觀察風流路徑，風吹進導流罩後，會沿著倒流罩內圓形部分行進，如圖9

(b)所顯示。為了清楚說明觀察的結果，我們另外以圖10來表示，其中綠色線的行進方向表示觀察到的氣流。這些氣流行進方向都是順時針方向。因此所有正面吹進來的風都轉換成同一旋轉方向的風來推動扇葉，如圖10中紅色的旋轉方向。

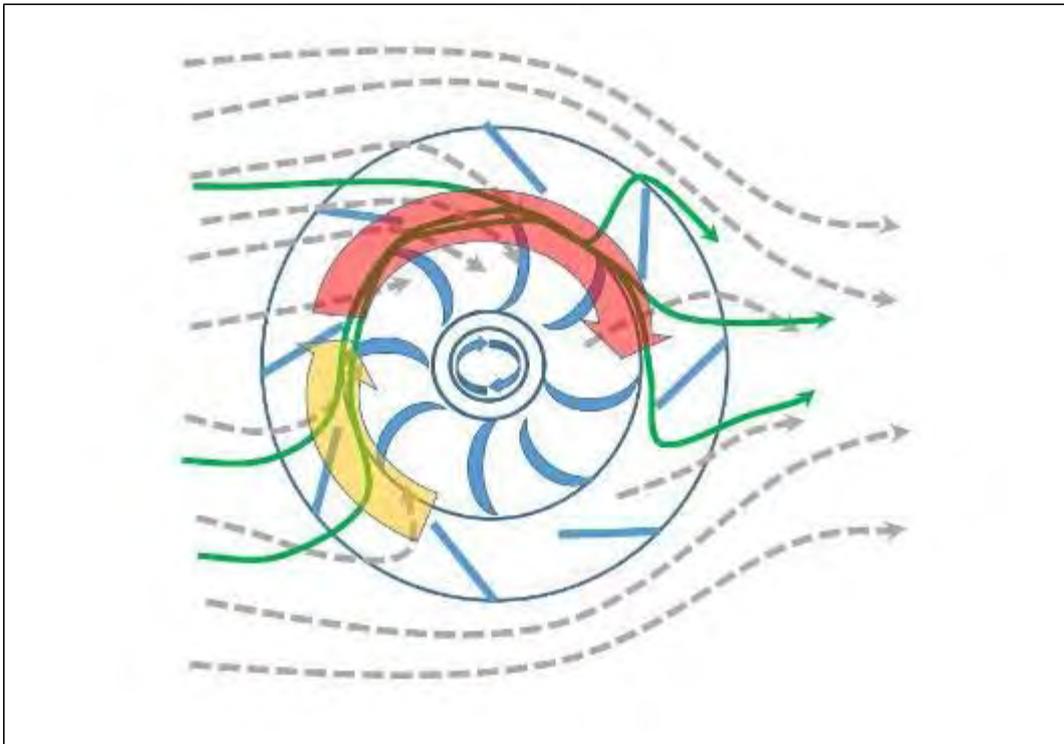


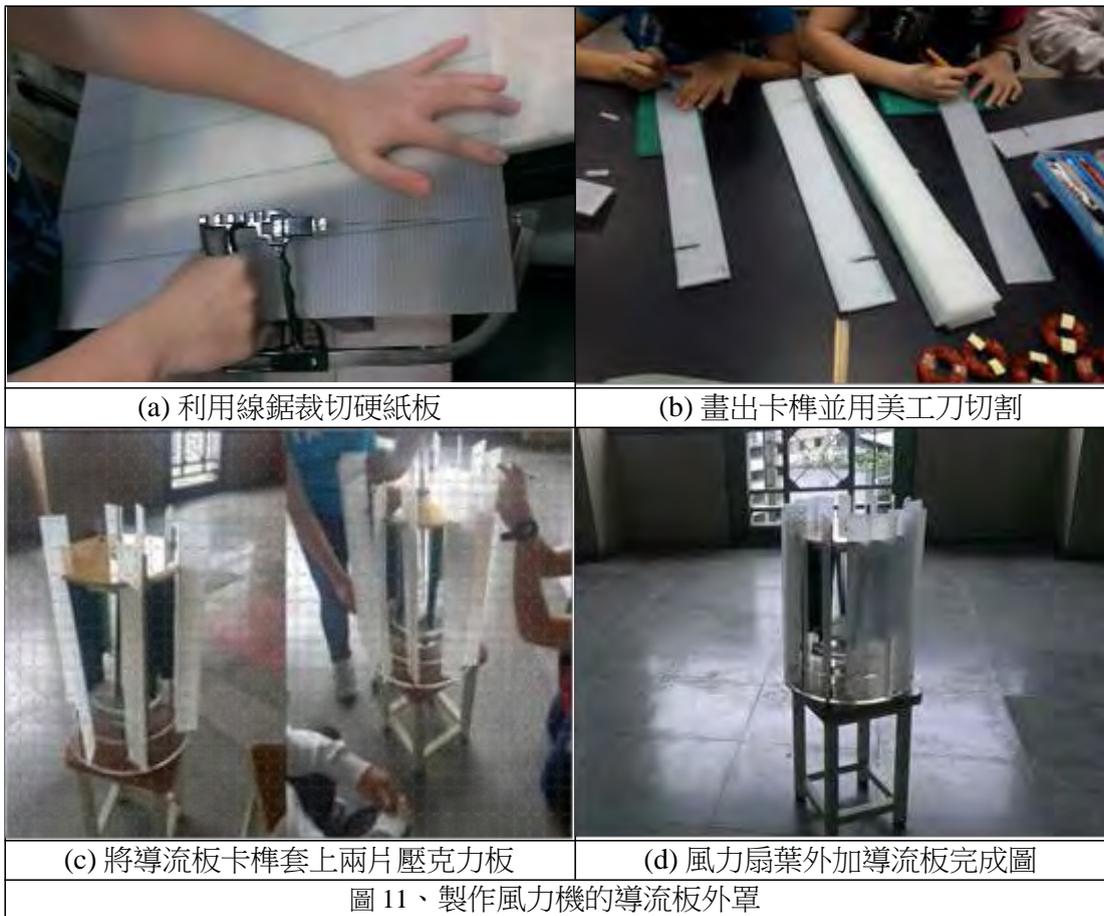
圖 10、起霧器觀察氣流現象，吹進來的右邊或左邊的風經導流之後都轉成順向力矩，右邊以黃色箭頭，左邊以紅色箭頭表示轉向。

### 3. 實驗討論：

霧氣流動觀察實驗，顯示出導流罩可以把所有吹進來的風都導向同一個旋轉方向，因此所有的風力都可以轉成風力扇葉設計的順力矩，而可以增加轉動速率。

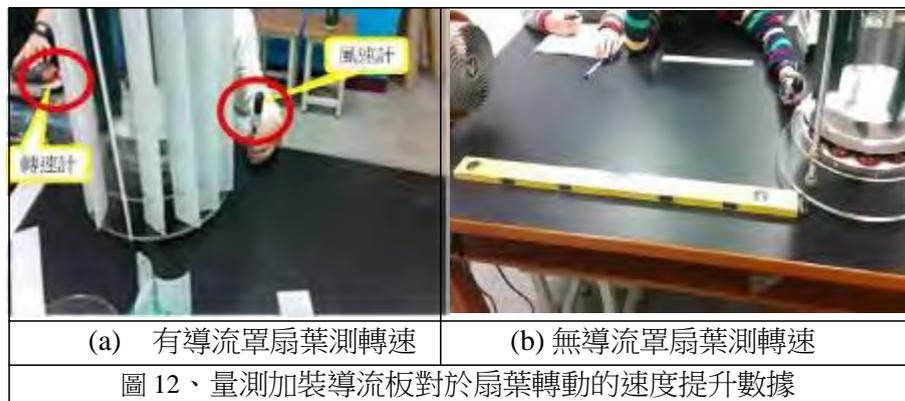
## 六、實驗(六): 導流罩風力機轉速實驗

本實驗測試在固定風力下有無加裝導流罩的風力扇葉轉速。



### 1. 實驗步驟

- (1) 利用塑膠瓦楞板製作導流板。先畫好寬度6cm長度50cm的導流片共16片，利用線鋸裁切。然後再畫出卡榫用美工刀切割，將導流板卡榫處夾入上下兩片壓克力，接著調整導流板的夾角為45度。製作過程如圖 11所顯示。
- (2) 改變導流板與中心線的夾角大小，觀察不同夾角對內部扇葉轉速的影響。
- (3) 拆下導流板，量測在相同風力情況下無任何導流板時，扇葉轉速是多少。
- (4) 實驗量測的過程如圖12所顯示。



## 2. 實驗結果

- (1) 無導流罩的風力扇葉，在風力為1.97公尺/秒之下，平均轉速為 30.8 rpm。
- (2) 有導流罩的風力扇葉，在風力為1.96公尺/秒之下，平均轉速為 140.5 rpm
- (3) 增加導流板與中心線夾角，在固定風力下會增加扇葉轉速。
- (4) 分析: 實驗觀察風力扇葉的轉速，若導流罩可以在風吹方向導流更多的風量，讓越少風量直接吹入內部扇葉，轉速就可以提高。本實驗我們可以增加導流板與中心線夾角，或者增加導流板數目來達到提高轉速的目的。

	風速 (m/s)	轉速 (rpm)	風力增強
無導流罩	1.97	30.8	轉速提高不明顯
有導流罩	1.96	140.5	轉速明顯提高

## 3. 實驗討論

- (1) 加裝導流板後，吹到導流板的風都被導向至扇葉產生順向力矩，而從空隙吹進去的風量明顯變小很
- (2) 多，因此會產生逆向力矩的風力也變得很少。因此轉速可以加快將近五倍。基於這個觀察，我們發現導流板相對於中心線的角度越大，例如圖 13 中把導流板的角從 $\theta_1$ 增大到 $\theta_2$ ，可以把更多可能產生逆向力矩的風，都導向順向力矩，因此轉速可以再加大。後面的實驗將針對角度不同來量測轉速和發電效率。

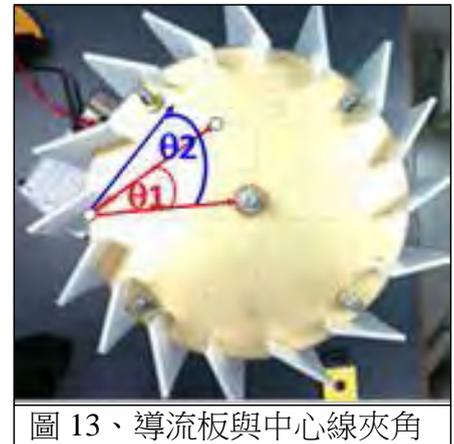


圖 13、導流板與中心線夾角

## 七、實驗(七): 導流罩風力機發電實驗

在實驗六中，我們量測到加裝導流板對於風力扇葉的轉速有很大的提升作用。因此我們想進一步知道導流葉片的放置角度與葉片的數目對於扇葉轉速的影響。

### 1. 實驗步驟

- (1) 在風力機上裝上8片導流板，調整導流板與中心線的夾角為 $60^\circ$ ，距離風扇80公分，量測風速、扇葉轉速、以及發電盤產生的電壓。(圖 14 (a)(d)(e)(f))

- (2) 同步驟(1)，但夾角改為 $75^\circ$ 。
- (3) 同步驟(2)，但裝上16片導流板，夾角仍是 $60^\circ$ 。(圖 14 (b))
- (4) 同步驟(3)，夾角改為 $75^\circ$ 。(圖 14 (c))

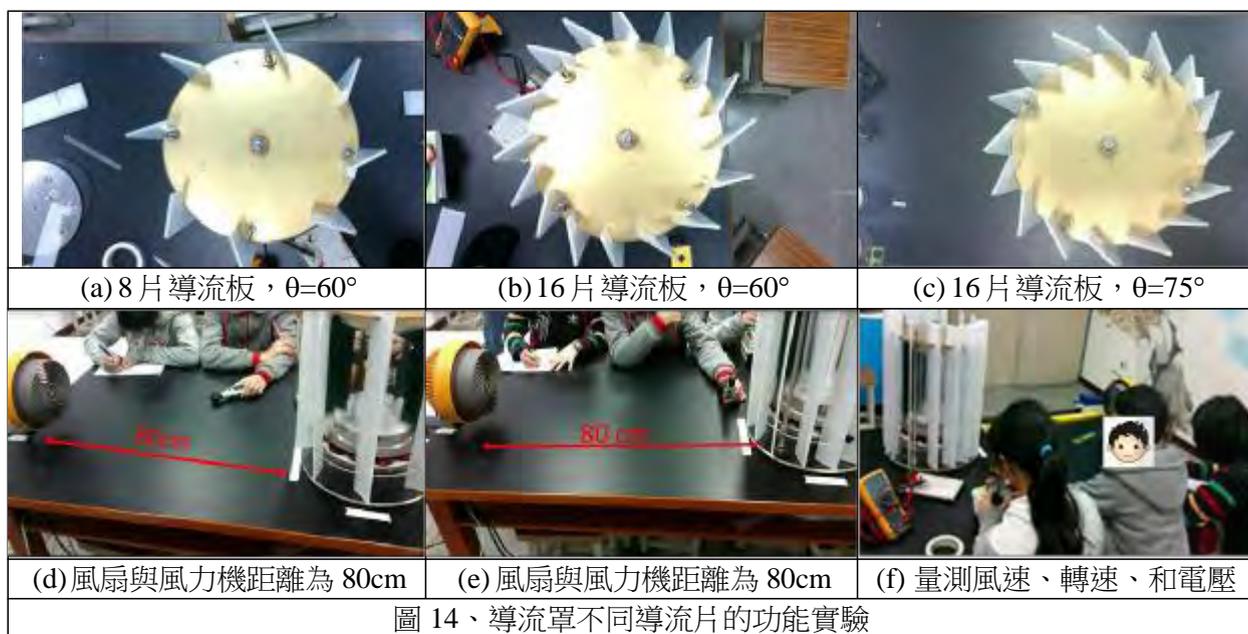


圖 14、導流罩不同導流片的功能實驗

## 2. 實驗結果

我們記錄下20筆數據，取其平均值，以下列表格表示。

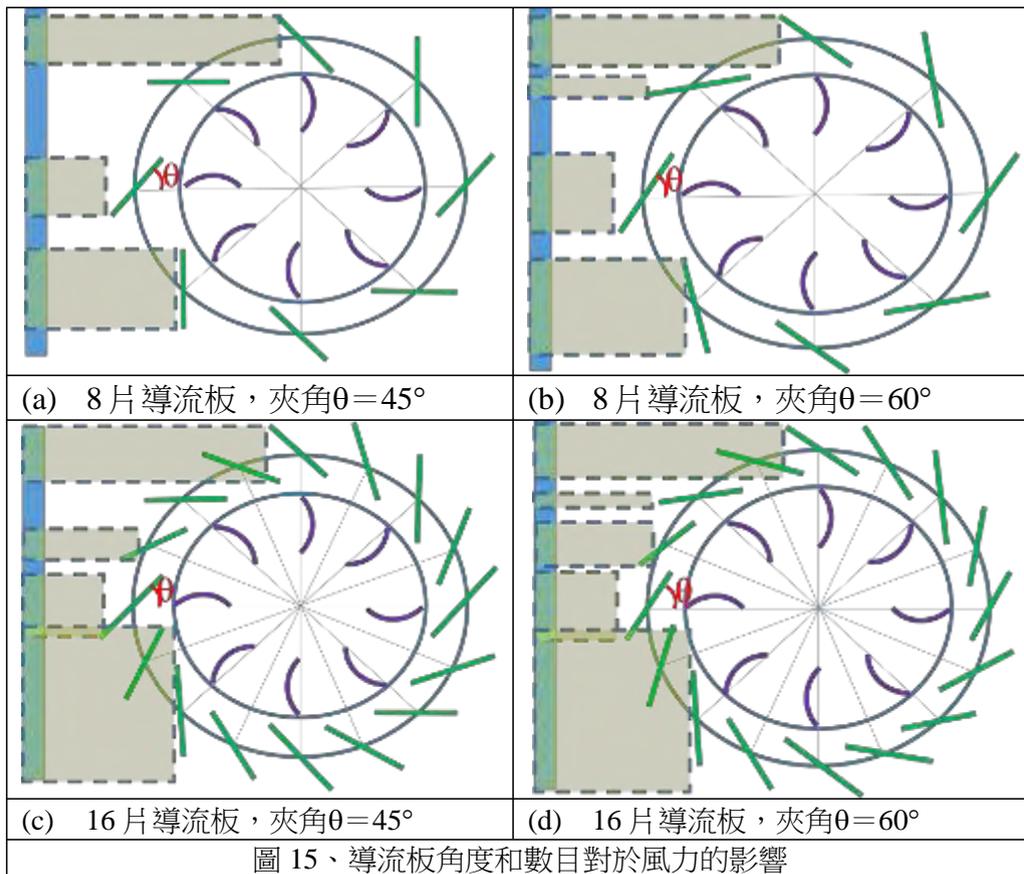
導流板安裝方式	風速(m/s)	扇葉轉速 (rpm)	發電電壓(V)
8 導流板， $\theta = 60^\circ$	<b>1.69</b>	<b>129.95</b>	<b>13.01</b>
8 導流板， $\theta = 75^\circ$	<b>1.69</b>	<b>167.36</b>	<b>15.11</b>
16 導流板， $\theta = 60^\circ$	<b>1.69</b>	<b>271.88</b>	<b>14.11</b>
16 導流板， $\theta = 75^\circ$	<b>1.69</b>	<b>323.75</b>	<b>20.2</b>

## 3. 實驗討論

- (1) 實驗結果顯示增加導流板與中心線的夾角( $\theta$ )，可以增加轉速而提高發電電壓。我們從 $\theta=45^\circ, 60^\circ$ 到 $75^\circ$ ，量測到的轉速和電壓是 $\theta=75^\circ$ 時最高最大。
- (2) 實驗數據也顯示，增加導流板的數目可以加快扇葉的轉速，進而提高發電電壓
- (3) 因為直吹進扇葉的風會造成順向和逆向力矩，增加導流板從8片到16片會讓直吹進去的風變少，我們以圖 15 (a)(c)來說明，黃色部分代表會被導流板導

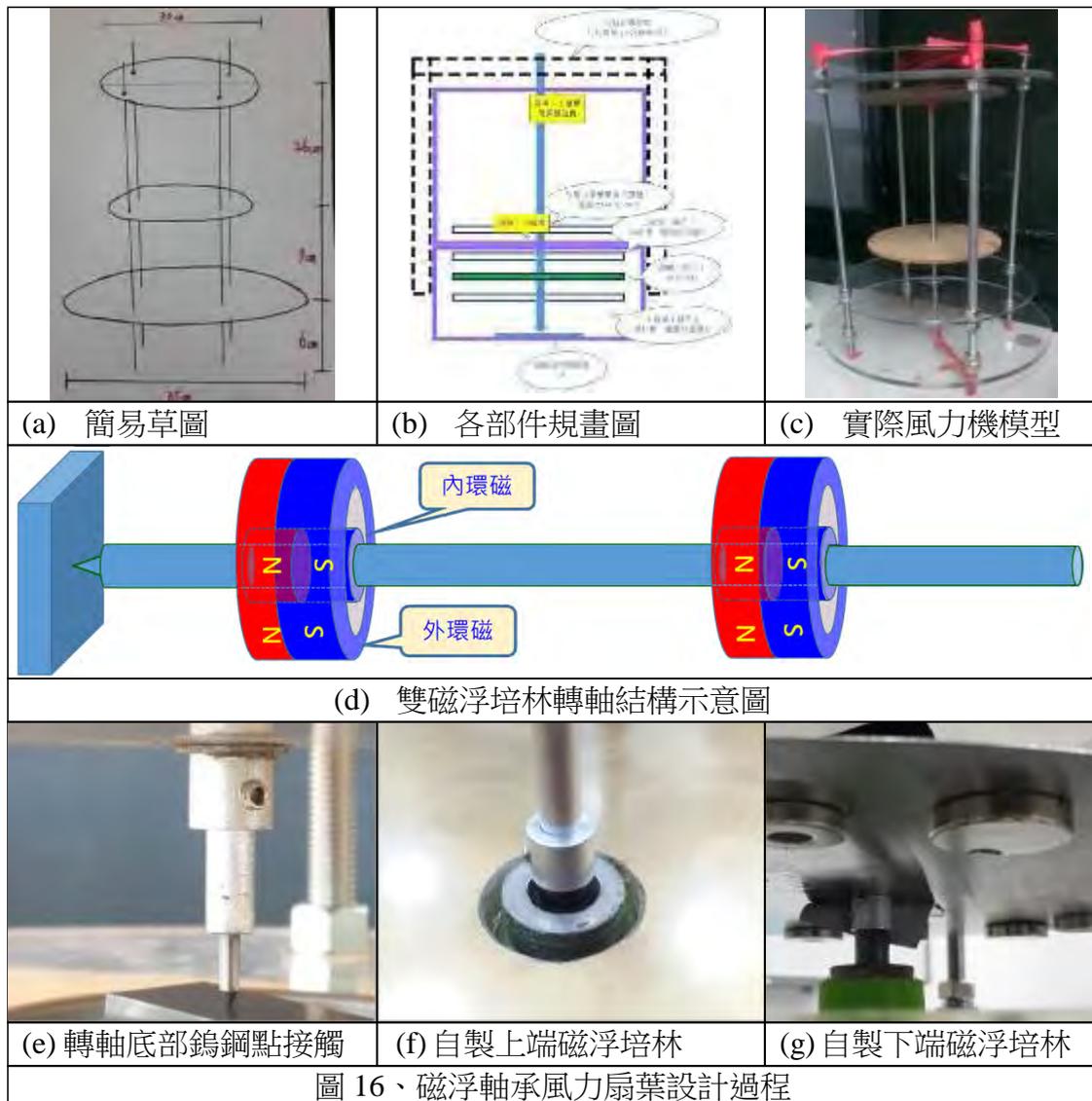
流的風，從8片增加到16片時，黃色部分的區域變多，所以有更多的風被導流成造成風力扇葉順向力距的風。從圖15(a)到(c)或者是圖15(b)到(d)，黃色區域增加很多。

- (4) 增加導流板和中心線的夾角 $\theta$ ，也可以增加導流的風量，但是增加的比例沒有比增加導流板數目高，例如從圖15(a)到(b)，夾角增大後黃色區域增加不多。



## 八、實驗(八): 磁浮軸承風力扇葉

我們把前面實驗的結果，轉成實際的風力發電機架構，用手畫的架構圖如圖16(a)，各部件規格如圖16(b)，圖16(c)是磁浮轉軸風力機雛型。圖16(d)是雙磁浮培林的結構示意圖，圖16(e)是轉軸底部頂點和底座(錫鋼材質)，圖16(f)(g)是上下兩個磁浮培林的細部圖示。



### 1. 實驗步驟

- (1) 製作磁浮培林轉軸，過程如圖 16 (a)(b)(c)為磁浮風力機的整體支架，圖 16 (e)(f)(g)為風扇轉軸上下兩個自製磁浮培林，以及底部支撐點。
- (2) 在磁浮培林轉軸的上方套上風力扇葉，用電扇吹至最大轉速，使用電腦計時器測量從最高轉速至完全停止的時間。如圖 17。

- (3) 將風力扇葉套在單頂點轉軸做轉動時間比較。與步驟(2)做相同轉動時間實驗。

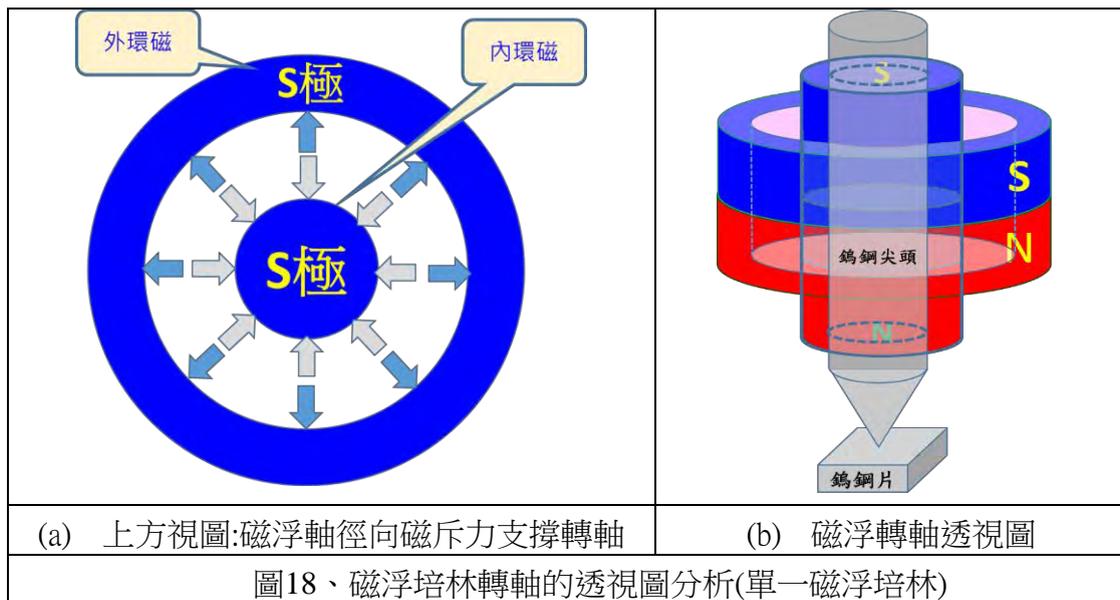


## 2. 實驗結果

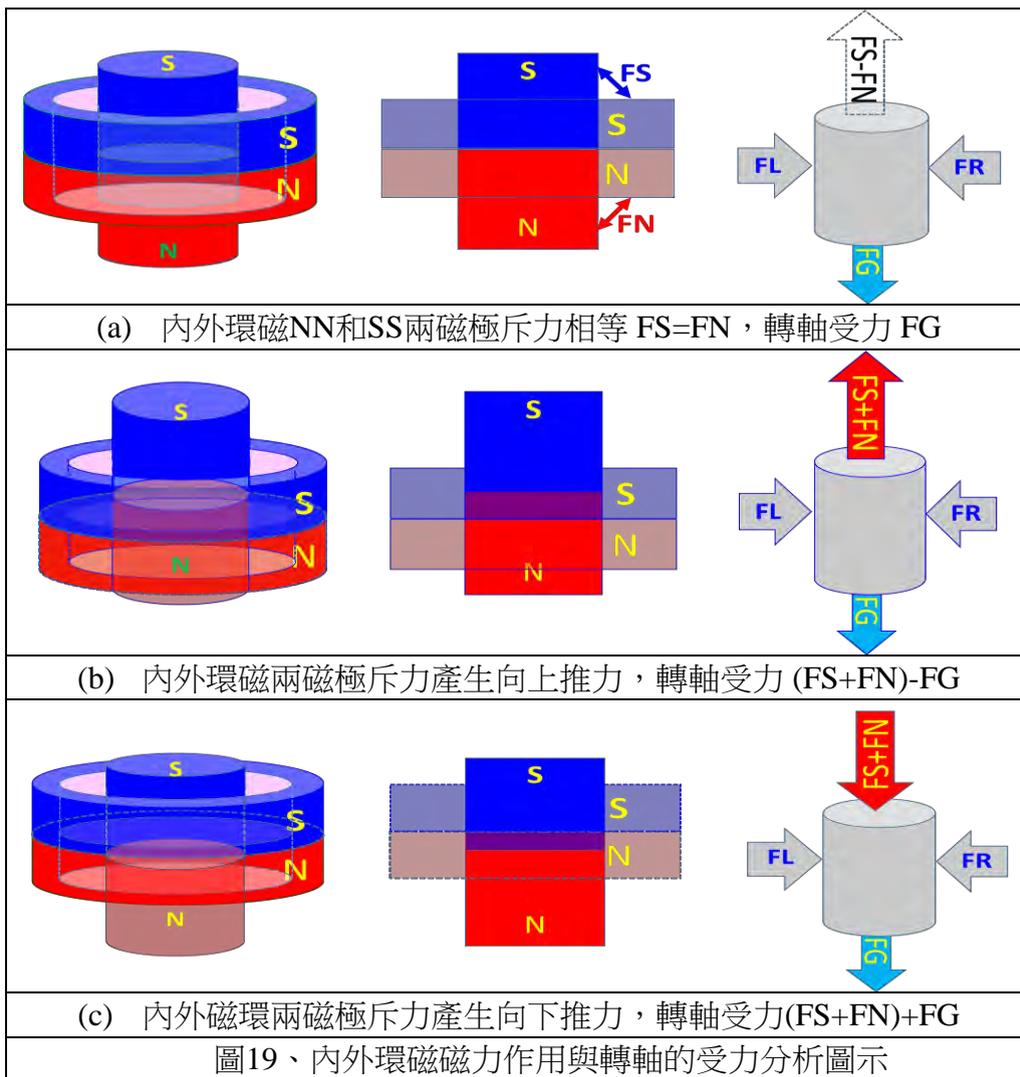
- (1) 電風扇吹動小風力扇葉的最高轉速約為420 rpm
- (2) 單頂點轉軸從最高轉速到完全停止，經量測為9.01秒
- (3) 磁浮培林轉軸從最高轉速到完全停止，為7分37秒或457秒。

## 3. 實驗討論

- (1) 單頂點簡易轉軸在風力扇葉轉到最高速時，因為側面和頂部的磨擦力損耗，很快就停止轉動。
- (2) 我們把磁浮培林轉軸的透視圖和上方視圖用圖18說明。磁浮培林轉軸沒有轉軸徑向的磨擦力(圖18 (a))，所以轉到最高轉速之後沒有側面磨擦力的消耗，只有底部的頂點磨擦力損耗(圖18 (b))。



- (1) 底部頂點與支撐平台的材質，我們用過塑膠、鋁棒鋁板、不銹鋼、以及錳鋼，最後發現使用錳鋼材質的頂點和平台最好。其他材質轉軸轉動久了之後，轉軸和底部支撐平台都會磨損變形，因此會加大轉動時的摩擦力。而錳鋼材質硬度很好，不會磨損，轉動的接觸點可以一直維持在底部頂點小面積接觸轉動且摩擦力小。
- (2) 上下兩個磁浮培林與轉軸都無直接接觸，沒有摩擦力的損耗，唯一有摩擦力的地方在下方支撐點。但是磁浮培林除了在徑向支撐轉軸(圖18 (a))，仍需要穩固的向下分力，才可以讓轉軸穩定旋轉不會向上彈出去。我們試著調整內外環磁的相對位置，發現適當的調整可以在內外兩環磁之間產生向上分力，支撐起風力扇葉的重量。整個感覺就像轉軸飄浮起來旋轉一樣，所以轉至最高速無風力情況下可以持續轉動457秒的時間。
- (3) 為了說明我們的觀察分析，圖19(a)顯示的是一種理想狀況，當調整相對高度而內外環磁兩端斥力 $F_S$ (S極互斥力)和 $F_N$ (N極互斥力)相等 ( $F_S=F_N$ ) 的理想情況，此時磁浮扇葉轉軸徑向合力為零 ( $F_L=F_R$ )，內外環磁磁斥力也互相抵消，唯一的受力來自本身的重量  $FG$ 。  $FG$ 會產生底部頂點摩擦力。圖20(b)是當內環磁高於外環磁，此時內外環磁兩端的斥力是作用在相同的方向，所以作用在轉軸上的合力是  $(F_S+F_N)-FG$ ，圖19(c) 剛好是相反的向下磁斥力，所以合力是  $(F_S+F_N) +FG$ 。我們發現採用圖19(c)的狀況轉軸轉動最吃力，採用圖19(b)的狀況並小心的調整磁環相對高度，可以把轉軸受力  $(F_S+F_N)-FG$ 調到最小，轉軸很像是浮起來轉動的感覺。



## 九、實驗(九): 發電盤與繞線(三相與單相)

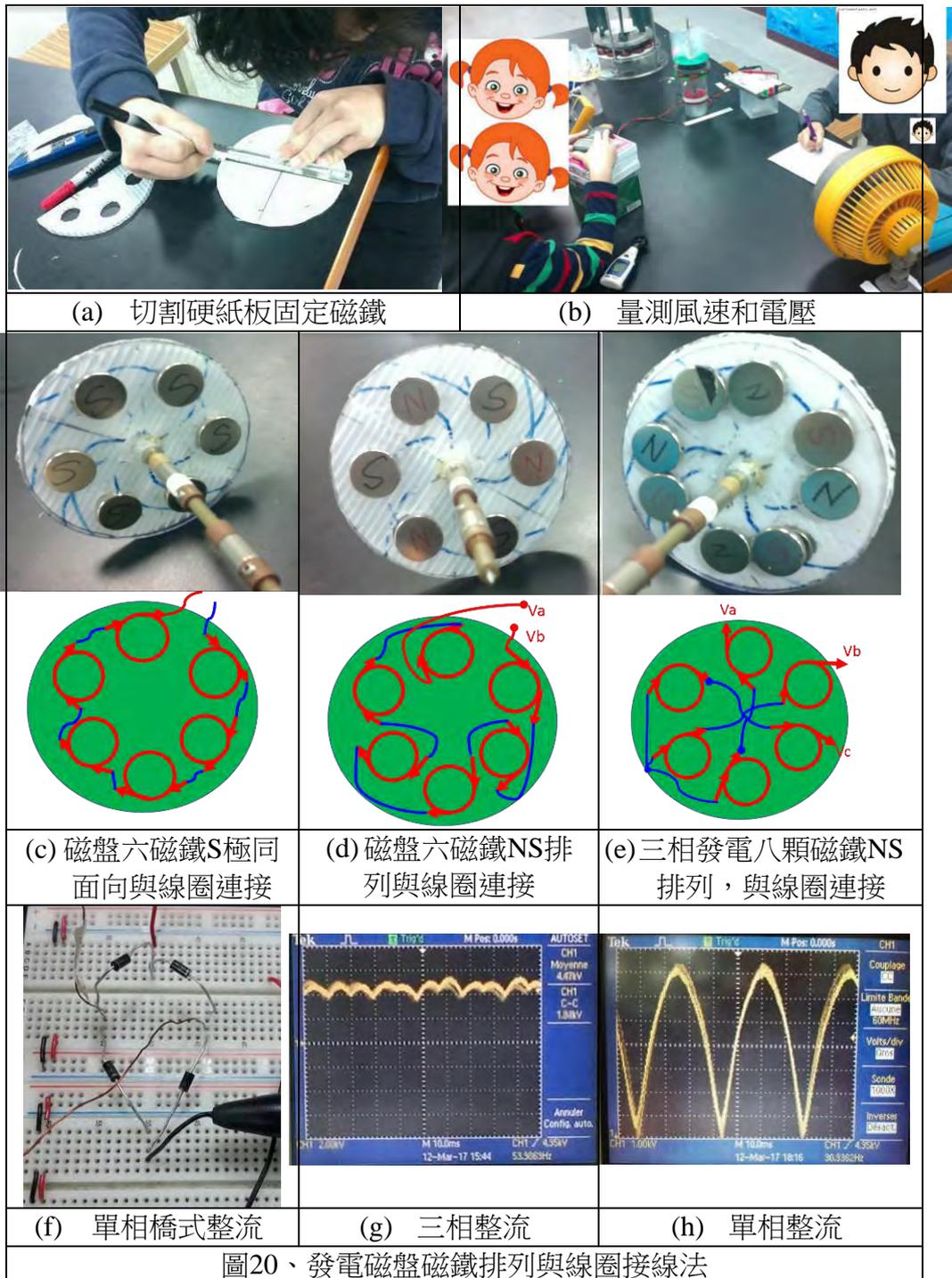
本實驗針對風力機的盤式發電所需要的漆包線繞線、線圈數目、磁鐵擺放、以及交流變直流等等，進行測試以了解不同發電盤繞線和磁盤磁鐵排列對於發電效率的影響。

### 1. 實驗步驟

- (1) 切割塑膠瓦楞板，挖與磁鐵大小相同的圓洞，分別製作六洞與八洞的圓盤，以放置磁鐵避免磁鐵相吸而錯位。如圖20 (a)。
- (2) 製作發電線圈，使用0.6mm漆包線繞線300匝。線圈兩端以砂紙磨去絕緣漆使線圈可以導電。共繞線6個線圈，剛好可以放在一個光碟片上。
- (3) 將六個線圈放在光碟片上，用膠固定，線圈兩端標示同轉向的輸入輸出。
- (4) 用12顆磁鐵對吸在轉盤壓克力片上，排列方法為S極同面向，相對應的線圈連結如圖20 (c)。此為單相電壓。
- (5) 轉軸套上三葉風力扇葉，用電風扇吹扇葉。到達轉速240rpm時測量發電電壓。

如圖20 (b)的實驗過程。

- (6) 同上，但排列方法為NS交錯，對應線圈連接如圖20 (d)為單相發電。
- (7) 同上，排列方法NS交錯用8對磁鐵，對應線圈連接如圖20 (e)為三相發電。



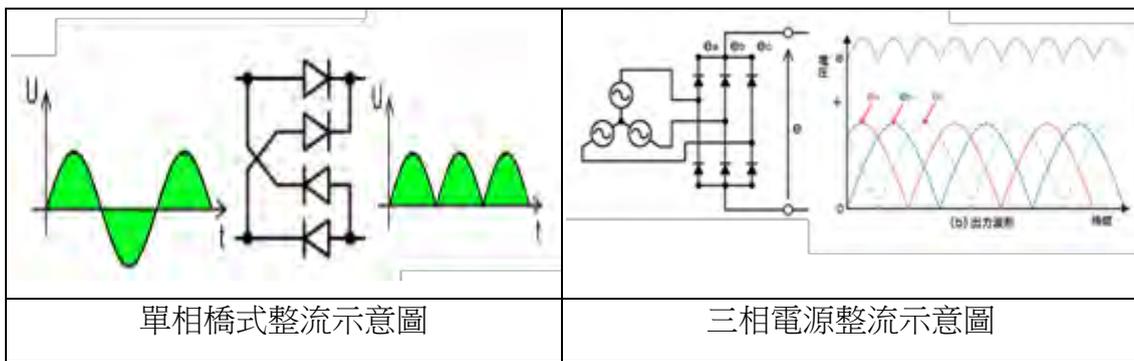
## 2. 實驗結果

針對三種不同的磁鐵排列和線圈繞線所量測到的轉速和發電電壓，各紀錄轉速和發電電壓十筆以上資料，經過計算平均值後如下表。

磁盤磁鐵(發電盤接線)	轉速(RPM)	空載電壓(V)
六對同極同向排列(單相線圈)	195.145	1.378
六對NS交錯排列(單相線圈)	293.66	4.8492
八對NS交錯排列(三相線圈)	267.12	4.01

### 3. 實驗討論

- (1) 使用同極同面向磁盤線圈串接，單相發電電壓為1.378V。使用NS異極排列磁盤，線圈串接但要交錯反向連接，在相近的風力之下，發電達到4.8492V
- (2) 使用三相發電，六線圈需要八顆磁鐵，但因為圓盤太小，所以磁盤上的相鄰八顆磁鐵會吸在一起成為四個N S成對。如圖20圖2(e)所顯示的現象。磁盤大一點就沒有這個問題。在相同的轉速之下，發電電壓達到4.01V。雖然比單相異極排列磁盤低，但是電壓的波動程度比較小。如下圖所表示。



## 十、實驗(十): 三相與單相實機測試

實驗九以小型的發電機來測試三相和單相發電的效率，我們把這個發電模式移到大型的實機來測試作進一步的比較。

### 1. 實驗步驟

- (1) 使用簡單轉軸繞0.6mm漆包線500匝(圖 21 (a)(b)(c))。兩端以砂紙磨去絕緣漆使線圈可以導電。共繞線12個線圈，以提供每組四個線圈的3相發電，如圖 21 (d)(e)(f)。
- (2) 剪一個圓型塑膠瓦楞板盤，畫出12個線圈要擺放的位置，如圖21(g)。把線圈用熱熔膠黏貼上去如圖 21(h)。12個線圈分成三個相位的繞線方向如圖 21 (i)。
- (3) 在鐵圓盤放置12顆磁鐵，N極與S極交互排列。
- (4) 將發電盤放到風力機最底下固定好作為發電機定子，磁鐵盤放到風扇的下方並穿越風扇轉軸黏住固定，作為發電機的轉子。
- (5) 將風力扇葉轉軸放回風力機，打開電扇對著風力機吹，量測風速、磁浮轉軸轉速和發電電壓。將數據記錄下來。如圖 22。

(6) 調整磁鐵盤和發電盤的間隔，調整電扇風力大小，記錄前項各數據。

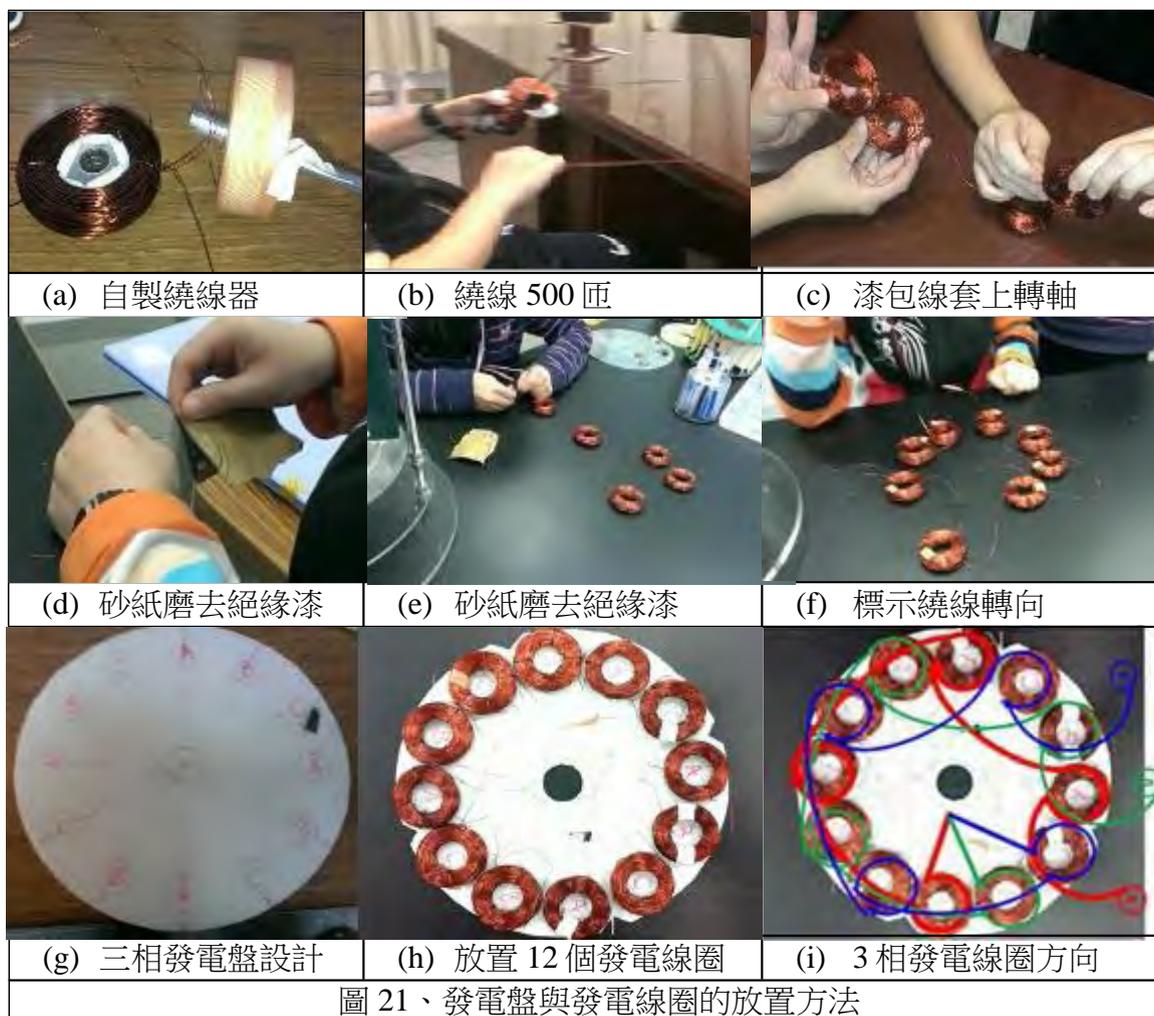


圖 22、風力發電實機測試實驗過程

## 2. 實驗結果

- (1) 電風扇打開後，風力扇葉轉動的速度逐漸加快，發電電壓漸漸上升。
- (2) 量測磁鐵盤和發電盤的間隔有1.3cm，在發電盤下方墊厚紙板，以墊高發電盤，縮小磁鐵盤和發電盤的間隔到約0.5cm。
- (3) 縮小間隔後再量測發電電壓，記錄20筆，平均發電電壓為6.17V。

	磁盤高度	整流	風速 (m/s)	轉速 (rpm)	電壓(V)
強風	1.3cm	單相	1.71	65.2	1.9
強風	1.3cm	三相	1.69	64.76	2.4
強風	0.5cm	三相	1.69	64.76	6.17

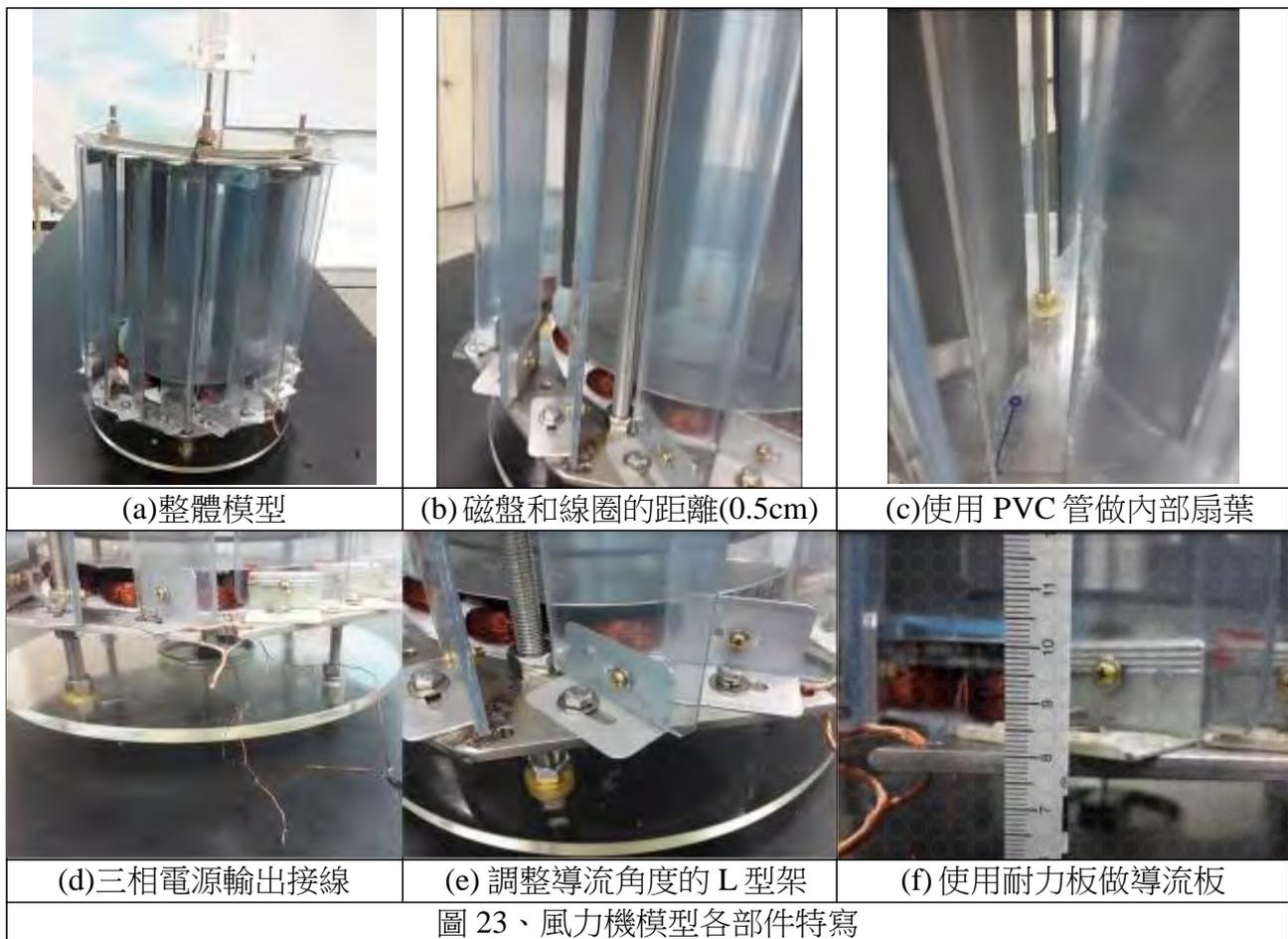
- (4) 結果分析：風力扇葉轉動越快，NSNS磁場改變的速率也越快，磁動生電的效果也越大。另外，磁盤和發電盤的距離越近，發電電壓也越高。

## 3. 實驗討論

- (1) 當扇葉轉速穩定(65rpm)時，量測三相發電經過整流後的電壓平均值為2.4V。
- (2) 量測磁鐵盤和發電盤的間隔有1.3cm，我們把在發電盤下方墊上巧克力，這樣間隔就可以縮小到約0.5cm。
- (3) 縮小磁鐵和線圈的間隔是風力發電機中很重要的一個環節。把間隔從1.3cm調整到0.5cm，發電電壓可以提高三倍左右。
- (4) 吹風力扇葉有順逆力矩，若把電扇吹向扇葉右方則只產生順向力矩，轉速可以提高到271rpm，再量測發電電壓記錄20筆，平均發電電壓為14.11V。可見使用相同裝置，如果可以提高轉軸轉速，縮短磁鐵和線圈間隔可以增加很多發電量。

## 十一、實驗(十一): 風力機模型效率測試

前面實驗結果中，針對風力發電機各個組成元件，例如轉軸、風力扇葉、導流罩、磁盤、和發電線圈等，進行實驗找出讓整體風力機效率最好的部件建構準則，依據這些準則，我們請老師幫忙把整個模型做得更穩固，截至目前我們的風力機模型如圖23所示。為了進行較客觀的比較，我們也拿一般的轉軸培林製作一組類似結構的風力扇葉，做為分析比較。



### 1. 實驗步驟

- (1) 扇葉軸承轉動時間比較: 打開電風扇吹我們自製磁浮培林軸承風力扇葉，當轉速達到穩定 240rpm 時，關閉電扇電源，並使用電腦上的計時軟體，觀察扇葉轉軸從最高速到完全停止所需的時間。
- (2) 同步驟(1)的量測方法，但改為測量一般培林軸承的扇葉，扇葉與轉軸結構與步驟相同。紀錄所觀察到的時間。
- (3) 轉速與發電量實驗: 我們觀察風力機在不同轉速下可以產生的電壓值。用風扇吹風力機到轉速穩定時，紀錄轉速和電壓的關係。

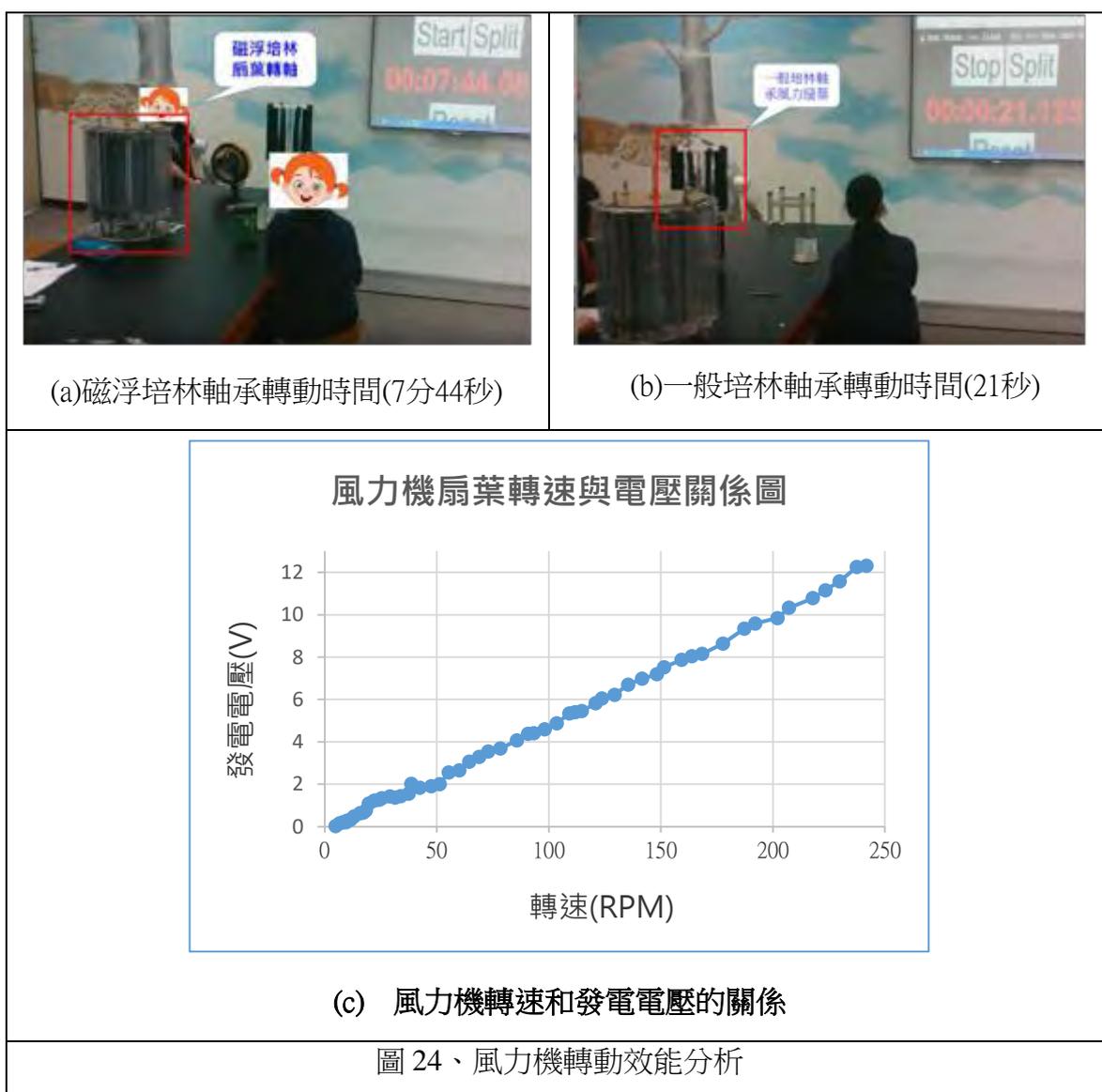
### 2. 實驗結果

- (1) 轉動時間比較: 經過實驗量測到的轉動時間，磁浮培林轉軸為7分44秒，一般培林轉動時間為21.12秒。實驗紀錄過程如圖 24 (a)(b)。
- (2) 轉速和發電電壓的關係圖，如圖 24 (c)。

### 3. 實驗討論

- (1) 一般培林在沒有持續風力下，很快就因為軸承滾珠的摩擦力把風能消耗掉。

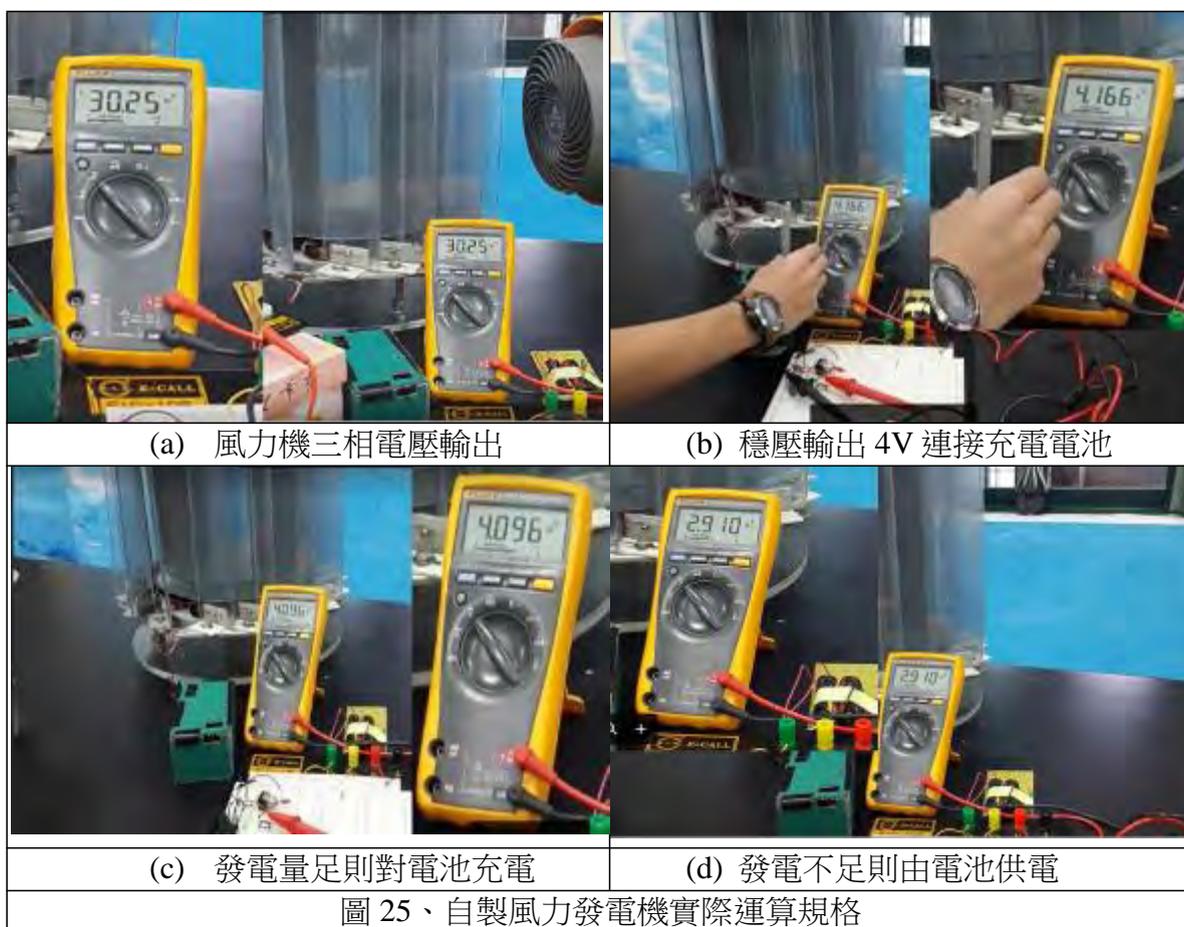
- (2) 磁浮軸承經由導流罩把風能轉換成動能，轉動時只有底部鎢鋼支撐點，轉速緩慢變小，可以持續轉動464秒。在464秒之內如有風吹來就可以讓扇葉繼續受力加速。
- (3) 磁浮軸承動能消耗慢的特性剛好符合我們想要設計在微弱風力之下可以穩定轉換風能的目標。因為動能消耗得慢，即便風力斷斷續續而且不強，風力機可以持續再集風轉換成動能，所以發出來的電可以比較穩定。



## 十二、實驗(十二): 風力機與穩壓充電器

本實驗把風力機與實際的充電電池連接在一起。我們使用型號14500鋰電池，容量650mAh，電壓使用範圍為 3.7 到 4.2V。風力機三相發電經過整流後，電壓的範圍在 5V到30V之間，所以必須經過穩壓器提供穩定的直流電，我們設定為穩定4V，如此可

以對電池正常充電。風力充足則風力機充電電流增加，可以同時讓LED燈亮以及對電池充電，當風力不足時則由電池供電給LED燈。系統如圖25所示。



## 肆、結論與應用

### 一、垂直扇葉導流罩設計

1. 實驗一及實驗二，自製有縫隙、無縫隙小型風力扇葉加裝簡易導流板，探討導流罩集風與扇葉轉動的效率。結果顯示扇葉在無加裝導流罩情況下，不管有無縫隙，轉速最快都是三片式扇葉，而四片式和六片式皆不轉動。
2. 實驗三及實驗四，加裝九片導流板的風力扇葉，無論扇葉數目多少轉速皆會加快，而本來無導流罩不轉動的四片式扇葉轉速反而最快。此外，六片式扇葉風吹時不轉動，但當導流板數目增為十六片時便可轉動。
3. 實驗五透過煙霧實驗，觀察經過導流板的風流向，顯示出導流罩可以把所有吹進來的風都導向同一個旋轉方向，因此所有的風力都可以轉成風力扇葉設計的順力矩，而可以增加扇葉轉動速度。
4. 實驗六將導流罩和扇葉模型變大，發現相同風力下有導流罩的扇葉轉速可以提高

近五倍(由30rpm提高到140rpm)。

5. 實驗七發現當導流板與中心線夾角加大，集風與導流的效果可以加成，因此扇葉轉速也變快。當導流板數目從4個增加到16個，角度從45度增加到75度，結果顯示導流板數目越多可以把更多風力轉成順向力距，而導流板數目與中心線夾角增大可以更進一步加大順向力距，提高扇葉轉速。

## 二、微弱風力磁浮軸承

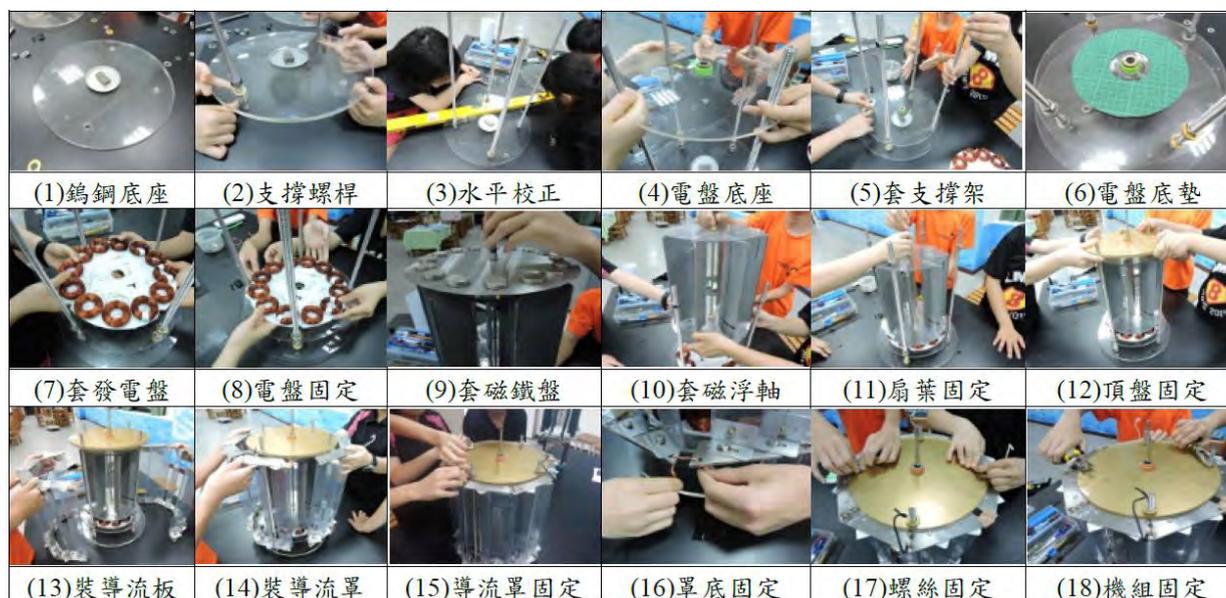
實驗八調整磁浮軸承內外環磁相對高度，以控制扇葉轉動靈敏度，讓扇葉轉軸有最小向下磁斥力，扇葉有浮起旋轉的作用，因此特別適合在微弱風力之下運轉。

## 三、穩定電壓盤式發電探討

1. 實驗九及驗十顯示: 單相發電線圈使用NS交錯磁盤比使用全部S極同面可以提高發電電壓三倍，而單相發電NS極交錯磁盤平均電壓與三相發電差不多，但是三相發電有比較穩定的輸出電力品質。此外，三相發電磁鐵數目和線圈的比例為4:3。
2. 目前我們的風力發電機的電壓輸出範圍在5V~30V，經過電壓調節器調整成4V穩定充電，可以同時讓LED燈亮且對充電電池充電。當電池電壓低於4V則對電池充電，若高於4V則發電機和電池同時點亮LED燈。目前因為充電電流小，我們規劃進一步增加線圈的數目來提高充電的電流。因為時間有限目前的作品還有改進的空間，將請教專家持續改進運轉效能。

## 四、自製風力發電機組裝過程

應用本研究成果之最佳化組裝構件流程如下:



## 五、不同形式風力機轉動效能比較

實際測試五組風力機(如圖(a)至(e))，顯示本作品(a)相較於其他形式風力機((b)至(d))，在

各種不同風速和風向條件下，皆可以持續穩定轉動，其餘只在特定條件下方可轉動。



## 六、總結

1. 本研究應用過去我們做磁浮軸承了解的物理特性，加以延伸到實際風力機模型設計上。
2. 磁浮軸承摩擦力小，可以在微弱風力下帶動扇葉旋轉是其主要優點。
3. 市售垂直型風力扇葉在都會區使用，無法有效收集來自四面八方不規則的自然風用以發電。我們透過加裝導流板(罩)來解決這個問題，可以將所有的微弱風力收集並導流成為推動風力扇葉轉動的順力矩。
4. 磁浮軸承風力扇葉很靈敏，因此也容易受自然風干擾而降低轉動效能。而導流板收集四方吹來的微弱風力，剛好可以提供順向力矩給磁浮軸承風力扇葉，兩者相輔相成，也就是說導流板能充分發揮磁浮軸承扇葉的優點。

## 伍、參考文獻

一、姚珩等 (2016)。國民中學自然與生活科技。翰林書局，3下，2-4:電磁感應，62-65。

二、風能原理應用。2017年6月4日取自

[http://www.solar-i.com/solt-Yu/energy%20website/html/teach\\_web/intro/intro.html](http://www.solar-i.com/solt-Yu/energy%20website/html/teach_web/intro/intro.html)

三、陳亭儒、黃翊、林玟葳 (2015)。中華民國 55 屆中小學科學展覽會作品說明書。化浮咻為神奇，只給我電其餘不要。

四、黃齊緯、林苧恩(2015)。中華民國55屆中小學科學展覽會作品說明書。磁旋追能。

五、單相三相全波整流。2017年3月5日取自 <http://a9920965.pixnet.net/blog/post/361757054>

## 【評語】 100019

1. 利用導流板的設計，磁浮的軸承結構，與三相的電路設計,提升風力發電機的效能，值得鼓勵。
2. 導流板的設計目前其實是採用實驗方法選取好的參數，建議應從原理探討與模擬方式,加以印證或找尋最佳值。
3. 建議應該量化評估發電機的效能提昇。